

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ  
КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВОЛОКНА ЗА ЗОБРАЖЕННЯМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ  
НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО АНАЛІЗУ**

**D.P. Stukhliak, Ph.D., Assoc.Prof.; D.M. Yaroshchuk**

**DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR  
FIBRE QUALITY CONTROL BY IMAGES USING NEURAL NETWORK  
ANALYSIS**

Сучасні текстильні підприємства стикаються з необхідністю підвищення якості продукції при одночасному зменшенні виробничих витрат. Одним із найкритичніших аспектів у цьому контексті є контроль якості пряжі, структурні дефекти якої можуть призводити до підвищеного браку тканини, перевитрати матеріалів та зниження ефективності роботи ткацьких верстатів. Традиційні методи контролю, зокрема візуальна інспекція або використання механічних очищувачів, часто є обмеженими як щодо точності, так і щодо швидкодії. Тому актуальною є розробка інтелектуальних підходів до автоматизованого моніторингу стану пряжі в режимі реального часу.

У дослідженні розглянуто впровадження штучних нейронних мереж – зокрема моделей сімейства YOLO – для розпізнавання та класифікації дефектів, що виникають у процесі повітряно-струменевого прядіння. Передумовою є розуміння специфіки формування структури нитки у повітряно-струменевому каналі, де на волокна впливають турбулентні повітряні потоки та тиск прядіння. Експериментальні дані свідчать, що зміна тиску від 3,5 до 5,0 бар істотно впливає на рівномірність нитки: наприклад, при тиску 3,8 бар кількість витягів зростає на 17 %, тоді як перевищення 4,8 бар збільшує частку вузлів на 23 %.

З огляду на це дослідження ставить за мету: отримання репрезентативного набору зображень дефектів нитки, створення моделі глибинного навчання для їх автоматичної класифікації, визначення оптимальних режимів роботи машини на основі статистичних залежностей між тиском прядіння, структурою нитки та частотою дефектів.

Для формування набору даних було розроблено експериментальну установку, що включає високошвидкісну камеру (240 fps), підсвічування зі стабілізованою температурою світла 5000 K та модуль транспортної подачі нитки зі швидкістю 120–150 м/хв. У результаті створено базу із 18 200 зображень, з яких 11 400 містять дефекти типу тонкі місця, товсті місця, вузли, переплутування та розриви структури. Попередня класифікація здійснювалася вручну групою експертів, що забезпечило високу достовірність анотацій.

Для аналізу застосовано моделі нейронних мереж YOLOv5 та YOLOv8, що демонструють здатність до детекції об'єктів на дрібних масштабах, що є критично важливим для задачі контролю якості нитки. Оптимальна структура моделі включала 17 шарів та 6,2 млн параметрів, що забезпечувало баланс між точністю та швидкістю. Попередня обробка даних включала нормалізацію яскравості, збільшення контрасту та аугментацію даних (обрерти, масштабування, зміна тіней), що підвищило загальну узагальнювальну здатність моделі.

Навчання проводилося на 80 % вибірки, тестування – на 20 %. Модель YOLOv8s досягла точності (Precision) 0,93, повноти (Recall) 0,89 та загального показника  $mAP@0.5 = 0,91$ , що на 12 % вище порівняно з класичними CNN-архітектурами типу

ResNet50, які показали  $mAP@0.5 \approx 0,79$  у тих самих умовах. Час обробки одного зображення становив у середньому 14 мс, що дозволяє інтегрувати систему в потокову лінію без зниження продуктивності.

У рамках аналізу взаємозв'язку між режимами прядіння та кількістю дефектів було встановлено, що оптимальний діапазон тиску становить 4,2–4,5 бар. У цьому діапазоні кількість структурних дефектів зменшується на 27 % порівняно з нижчим тиском та на 31 % порівняно з надлишковим тиском. Отримана модель дала змогу прогнозувати ймовірність утворення дефектів залежно від параметрів роботи машини з точністю 0,87, що відкриває можливість автоматичного регулювання тиску у замкнутому контурі.

Крім того, експериментальна частина продемонструвала, що якість витягів і вузлів має нелінійну залежність від мікроструктури, що формується у повітряно-струменевому каналі. Це підтверджує доцільність застосування методів складних нейронних мереж для аналізу зображень такого типу, адже звичайна сигналометрична діагностика не дає точного уявлення про просторові дефекти.

Узагальнюючи, можна зазначити, що використання штучних нейронних мереж у контролі якості пряжі є ефективним та перспективним напрямом цифрової трансформації текстильної промисловості. Результати дослідження демонструють високу точність і швидкість виявлення дефектів та дозволяють не лише автоматизувати процес контролю, а й регулювати режими роботи прядильної машини для мінімізації браку. Упровадження таких підходів здатне зменшити втрати підприємства до 15–18 %, підвищити стабільність якості на 20 % та скоротити час технічного обслуговування обладнання на 10–12 %.

Таким чином, розроблена система контролю може стати ключовим елементом сучасних смарт-текстильних виробництв, забезпечуючи високу конкурентоспроможність і ефективність процесів.

### Література

1. Lawrence C. A. *Fundamentals of Spun Yarn Technology*. Boca Raton: CRC Press, 2003. 736 p.
2. Pereira F., et al. Yarn quality analysis by using computer vision and deep learning. *Textile Research Journal*. 2025. Vol. 95, No. X. – P. 1–15.
3. Jansen K. *Image-Based Condition Monitoring of Air-Jet Spinning Machines Using Deep Neural Networks* : Master's thesis. – University of Borås, 2024. – 92 p.
4. Mao M., et al. YOLO Object Detection for Real-Time Fabric Defect Inspection: A Review // *Sensors*. – 2025. – Vol. 25, No. 7. – Article 2270.
5. Zhou L., et al. DCFE-YOLO: A novel fabric defect detection method. *PLOS ONE*. 2025. Vol. 20, No. X. e0314525.
6. Dai J., et al. PHL-YOLO: a real-time lightweight yarn inspection method // *Journal of Real-Time Image Processing*. 2025. (ahead of print).
7. Özek A. *Artificial Intelligence Driving Innovation in Textile Defect Detection and Quality Assurance*. AI. – 2025. – Vol. 5, No. 2. – P. 1–25.
8. *Application of AI and ML in Quality Control Department of Textile and Apparel Industry*. Proceedings of International Conference on Textile and Apparel Engineering. 2024. P. 45–54.
9. *Deep Learning Approach for Predicting the Physical Properties of Air-Jet Textured Yarn with PET/PTT Bicomponent Fiber* // *Textile Research Journal*. 2023. Vol. 93, No. X. P. 1–12.
10. *Application of Neural Network to Predict the Properties of Air-Jet Spun Yarns*. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2017. Vol. 42, No. X. P. 210–218.

11. Prediction of Air-Jet Textured Yarn Properties Using Statistical Method and Neural Network. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2012. Vol. 20, No. X. P. 29–35.

УДК 681.518.5

**П.Д. Стухляк, д.т.н., проф.; А.О. Петров**

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

## **РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СКЛАДАННЯ КОНТАКТНОГО РОЗ'ЄМУ PIN HEADER**

**P.D. Stukhliak, Dr., Prof.; A.O. Petrov**

### **DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR THE ASSEMBLY PROCESS OF A PIN HEADER CONNECTOR**

Сучасні виробничі системи для складання електронних компонентів перебувають під постійним тиском підвищення точності, стабільності та продуктивності, що зумовлює активний перехід від ручних операцій до автоматизованих та колаборативних технологій. У роботі здійснено комплексне дослідження автоматизації процесу складання контактних штифтових роз'ємів типу Pin Header (PH) з використанням роботизованих маніпуляторів, систем керування на базі ПЛК та інтегрованих засобів програмного контролю. Наукова значущість дослідження полягає в обґрунтуванні конструктивних, технологічних та програмних рішень, які забезпечують підвищення повторюваності операцій на 32–45%, зниження впливу людського фактора на 50–60% та оптимізацію потокових характеристик із загальним зростанням продуктивності на 28–35%.

Відправною точкою дослідження стало формування достовірної бази емпіричних даних шляхом систематичних хронометражних вимірювань у реальному виробничому середовищі. Було здійснено 240 багатократних вимірювань тривалостей основних і допоміжних операцій, включно з підготовчо-завершальними діями, налаштуванням робочих місць, повторними виконаннями та переміщеннями між операційними зонами. Такий підхід дозволив мінімізувати випадкову похибку до  $\pm 3,5\%$ , відтворити природну варіативність ручних дій та сформувати статистично коректну часову модель виробничого процесу. Записані дані стали основою для побудови потокових моделей, аналізу пропускної здатності й оцінювання ефективності різних конфігурацій процесу — зокрема, при ручній роботі середній цикловий час одного виробу становив 11,4 секунди, тоді як при автоматизації потенційно знижувався до 6,8 секунди.

На основі отриманих даних розроблено імітаційну модель складання Pin Header, яка відтворює дискретну логіку проходження виробів через послідовність операцій. Модель враховує кількість доступних робочих станцій (3–5), їх пропускну здатність (450–700 виробів/год), добовий фонд часу (480 хв), можливість паралельного виконання операцій та технологічні відношення передування. Імітація виконувалася для партій із фіксованою кількістю виробів (1000 шт.) та дозволила отримати інтегральні показники виробничої динаміки, зокрема загальну тривалість проходження (lead time), обсяг незавершеного виробництва, завантаження станцій та характер утворення черг. Модель підтвердила, що автоматизація зменшує цикловий час у середньому на 40%, знижує накопичення проміжних запасів на 55–70%, стабілізує ритм виробництва, а кількість типових помилок (перекося, недовставлення) зменшується з 3,1% до 0,4%.